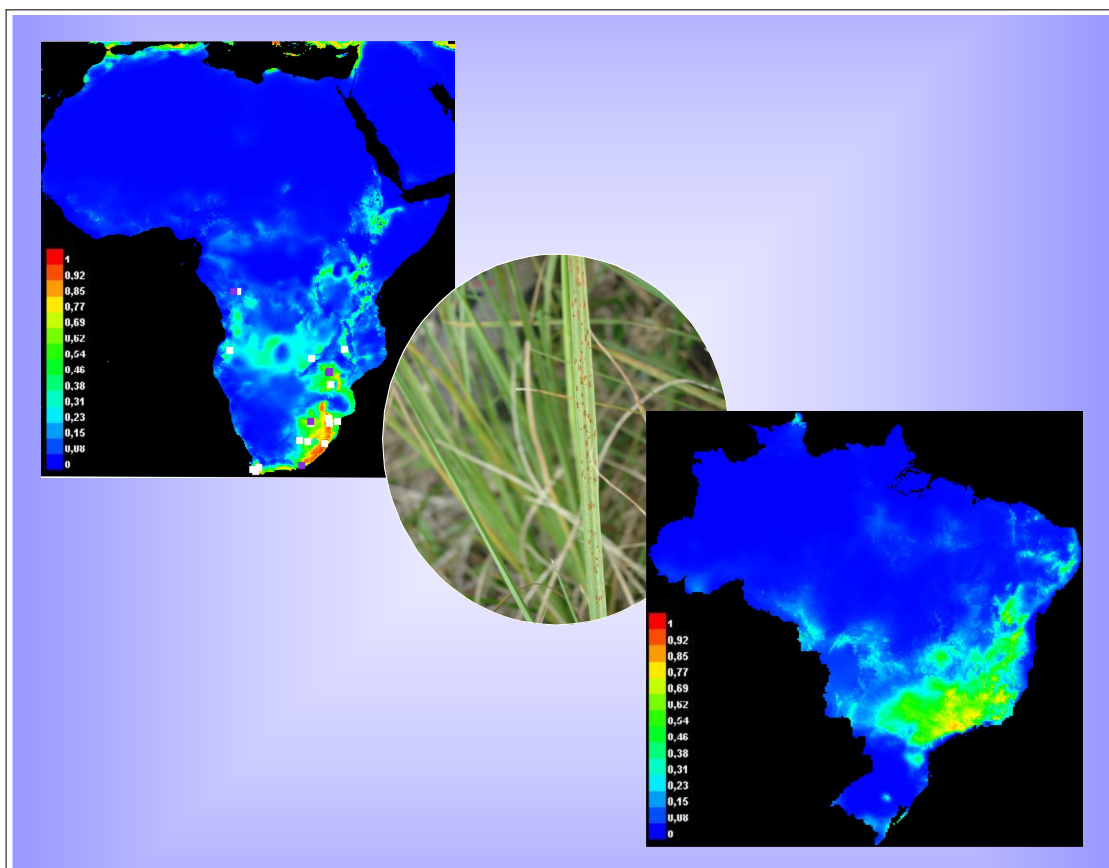


Modelagem de nicho ecológico: implicações na priorização de áreas para exploração e liberação de agentes de biocontrole do capim-annoni-2 (*Eragrostis plana* Nees) no Brasil



***Documento*292**



Modelagem de Nicho Ecológico: implicações na priorização de áreas para exploração e liberação de agentes de biocontrole do capim-annoni-2 (*Eragrostis plana* Nees) no Brasil

*Glaucia de Figueiredo Nachtigal
Fábila Amorim da Costa*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Clima Temperado

BR 392 Km 78

Caixa Postal 403, CEP 96010-971- Pelotas, RS

Fone: (53) 3275-8199

Fax: (53) 3275-8219 – 3275-8221

Home Page: www.cpact.embrapa.br

e-mail: sac@cpact.embrapa.br

Comitê Local de Publicações

Presidente: Ariano Martins de Magalhães Júnior

Secretária - Executiva: Joseane Mary Lopes Garcia

Membros: Márcia Vizzotto, Ana Paula Schneid Afonso, Giovani Theisen, Luis Antônio Suíta de Castro, Flávio Luiz Carpena Carvalho, Christiane Rodrigues Congro, Regina das Graças Vasconcelos dos Santos.

Suplentes: Isabel Helena Verneti Azambuja e Beatriz Marti Emygdio.

Supervisão editorial: Antônio Luiz Oliveira Heberlê

Revisão de texto: Ana Luiza Barragana Viegas

Normalização bibliográfica: Graciela Olivella Oliveira

Editoração eletrônica e arte da capa: Manuela Doerr (estagiária)

Foto(s) e Mapa(s) da capa: Glaucia de F. Nachtigal e Fábila Amorim da Costa

1ª edição

1ª impressão (2010): 50 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei N° 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Clima Temperado

Nachtigal, Glaucia de Figueiredo

Modelagem de nicho ecológico : implicações na priorização de áreas para exploração e liberação de agentes de biocontrole do capim-anonni-2 (*Eragrostis plana* Nees) no Brasil / Glaucia de Figueiredo Nachtigal; Fábila Amorim da Costa. -- Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010.

(Documentos / Embrapa Clima Temperado, ISSN 1806-9193 ; 293)

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: <<http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/catalogo/tipo/online/documento.php>>

Título da página Web (acesso em 30 jul. 2010)

1. Planta invasora. 2. Controle biológico. I. Costa, Fábila Amorim da. II. Título. III. Série.

CDD 632.5

Autores

Glaucia de Figueiredo Nachtigal

Eng. Agrôn., Doutora em Agronomia

Pesquisadora da Embrapa Clima Temperado,
Pelotas, RS

(glaucia.nachtigal@cpact.embrapa.br)

Fábia Amorim da Costa

Geógrafa, Mestre em Engenharia Agrícola

Analista da Embrapa Clima Temperado, Pelotas,
RS

(fabia.amorim@cpact.embrapa.br)

Agradecimento

Os autores agradecem a Dr^a. Élen Nunes Garcia, pela efetiva colaboração na compilação de registros da ocorrência do capim-annoni-2 no continente africano.

Apresentação

Há mais de cinco décadas, o capim-annoni-2 foi idealizado como uma alternativa para a produção forrageira na região Sul do Brasil. Os eficientes atributos biológicos fizeram desta espécie, porém, uma ameaça à biodiversidade do Bioma Pampa.

O desenvolvimento e aplicação do controle biológico de plantas invasoras oferece grandes oportunidades para o manejo desta espécie, não só aos produtores e conservacionistas, mas também à sociedade em geral que demanda por um ambiente preservado. A ampla invasão da espécie alvo em diferentes condições edafoclimáticas no Rio Grande do Sul se dá, pelo menos parcialmente, pela inexistência de inimigos naturais nativos eficazes, o que, a princípio, sugere a busca de inimigo natural efetivo no continente africano, de onde o capim-annoni-2 é originário, e a implementação da estratégia clássica de biocontrole em condição brasileira.

A Embrapa Clima Temperado tem empreendido esforços de pesquisa para conhecer a diversidade de inimigos naturais nativos do capim-annoni-2 e caracterizar o impacto por eles ocasionado. Tal condição é essencial para subsidiar a tomada de decisão futura a respeito da implementação de estratégia(s) de controle biológico adequada(s), com vistas à contenção do processo de invasão em situações nas quais

o protocolo de controle, atualmente disponível, não é considerado adequado.

A seleção de agentes de biocontrole que sejam adaptados às áreas onde se pretende as liberações requer uma análise do clima da região de origem e dos locais de liberação. É preciso estreitar a área pesquisada na busca de agentes efetivos de biocontrole e reduzir a incompatibilidade climática como um potencial complicador no estabelecimento do agente a campo. Neste aspecto, as ferramentas de modelagem consistem em componentes importantes em programas de controle biológico de espécies invasoras exóticas.

O presente documento aborda aspectos relacionados à priorização de áreas para a exploração de agentes de biocontrole no continente africano e para a liberação em condição brasileira, bem como aqueles relacionados à distribuição geográfica potencial do capim-annoni-2 e de seu inimigo natural nativo, o fungo *Uromyces sp.*, detectado recentemente na região de Fronteira da Metade Sul do Rio Grande do Sul.

Waldyr Stumpf Junior
Chefe-Geral
Embrapa Clima Temperado

Sumário

1	Introdução	8
2	Aquisição e tratamento dos dados usados na modelagem	
2.1	Relatos da distribuição espacial do capim-annoni-2 na área nativa de ocorrência da espécie.....	11
2.2	Relatos da distribuição espacial do capim-annoni-2 e do fungo <i>Uromyces sp.</i> no Rio Grande do Sul	11
2.3	Aquisição e tratamento das informações ambientais	12
3	Seleção dos ambientes de modelagem	17
3.1	Algoritmo Genético para Predição de Regras – GARP	20
3.2	Algoritmo de Máxima Entropia – Maxent	20
3.3	Validação e teste da capacidade preditiva do modelo	21
4	Os modelos preditivos.....	22
4.1	Distribuição geográfica potencial do capim-annoni-2 e do fungo nativo <i>Uromyces sp.</i>	22
4.2	Adequação climática entre locais de exploração na região nativa e locais de liberação no Brasil	25
5	Referências.....	30

Modelagem de Nicho Ecológico: Implicações na Priorização de Áreas para Exploração e Liberação de Agentes de Biocontrole do capim-annoni-2 (*Eragrostis plana* Nees) no Brasil.

Glaucia de Figueiredo Nachtigal

Fábria Amorim da Costa

1. Introdução

Gramíneas constituem uma proporção significativa das espécies de plantas invasoras e espécies originárias da África dominam vastas áreas no Brasil. Algumas destas gramíneas, introduzidas como forrageiras, disseminaram-se das pastagens tornando-se dominantes. Este parece ser o caso do capim-annoni-2 (*Eragrostis plana* Nees), cuja introdução se deu, acidentalmente, no Rio Grande do Sul na década de 50, devido à contaminação de remessas de sementes de outras espécies forrageiras importadas do continente africano (ARAÚJO, 1971; COELHO, 1983). Graças aos atributos biológicos da espécie, tornou-se a invasora de pastagens mais agressiva já surgida no Rio Grande do Sul (COELHO, 1986, 1993; COUTO et al., 1993; FERREIRA et al., 2006; REIS; COELHO, 2000). Esta gramínea responde, na atualidade, pela redução na frequência e riqueza de muitas espécies nativas e da heterogeneidade da vegetação herbácea do Bioma Pampa. É ainda responsável pelo considerável impacto cultural decorrente da prevenção da pecuária nas áreas invadidas devido ao arrendamento de propriedades para o plantio de espécies florestais (pinus, eucalipto e acácia-negra) ou conversão para a agricultura, sem possibilidade de restauração posterior ao controle da invasora.

Na maioria dos agroecossistemas as plantas invasoras são controladas por métodos culturais e químicos, porém, em ecossistemas naturais, tais métodos convencionais de controle tendem a ser impraticáveis, antieconômicos e ambientalmente indesejáveis. Há uma crescente conscientização mundial sobre os impactos ambientais e efeitos tóxicos advindos do uso indiscriminado dos métodos químicos para o controle de pragas. Tal atitude, em parte, fortalece uma corrente global quanto ao interesse em controle biológico de plantas invasoras como método de controle sustentável, ambientalmente seguro e potencialmente efetivo. Busca-se, com ele, o uso de inimigos naturais para manter a população de espécies indesejáveis em um nível controlado, de modo a reduzir o dano e tornar a presença da espécie tolerável.

A caracterização e o conhecimento da diversidade de inimigos naturais nativos do capim-annoni-2 tem sido alvo de pesquisa, na Embrapa Clima Temperado, com vistas a embasar futuras ações relativas ao desenvolvimento de métodos de manejo biológico desta espécie. A ocorrência do fungo *Uromyces sp.*, agente etiológico da ferrugem do capim-annoni-2, foi detectada na Região de Fronteira da Metade Sul do Rio Grande do Sul (NACHTIGAL et al., 2009), despertando interesse na sua utilização como agente de biocontrole, notoriamente pela estratégia aumentativa, já que as características e abundância dos esporos produzidos pelo patógeno na espécie hospedeira favoreceriam sua dispersão na área onde se pretende o controle da espécie alvo.

Para ser bem sucedido, um agente selecionado para o controle biológico precisa ser capaz de persistir e desenvolver-se no clima da região na qual o controle é desejável. Agentes de controle biológico para invasoras com ampla tolerância climática, como é o caso do capim-annoni-2, necessitam ser escolhidos cuidadosamente. Herbívoros e fitopatógenos especialistas, que apresentem distribuições restritas em sua região de origem, podem ter tolerância climática estreita o que limitaria sua habilidade em controlar a invasora em toda sua distribuição. Agentes de biocontrole selecionados de áreas com

condições climáticas similares são considerados mais adequados para garantir controle efetivo (HOELMER; KIRK, 2005). A incompatibilidade climática entre as áreas de origem e de introdução é considerado uma das principais razões pelas quais os agentes de biocontrole não se estabelecem ou não formam populações (BYRNE et al., 2002; HOELMER; KIRK, 2005).

A seleção de agentes de biocontrole que sejam adaptados às áreas onde se pretende as liberações requer uma análise do clima da região de origem e dos locais de liberação, de modo a estreitar a área pesquisada e reduzir a incompatibilidade climática como um potencial complicador no estabelecimento do agente a campo.

A modelagem de nicho ecológico, neste sentido, consiste em um componente importante nos programas de controle biológico de invasoras. Estes modelos geram associações entre as variáveis ambientais e os registros de ocorrência de espécies para identificar as condições do ambiente dentro das quais as populações podem ser mantidas. A partir daí é possível estimar a distribuição espacial do ambiente, favorável a uma determinada espécie, para uma determinada área de estudo. A ferramenta tem sido amplamente usada para prever o estabelecimento potencial e distribuição de plantas invasoras em sua região de introdução (DUNLOP et al., 2006; RAIMUNDO et al., 2007); para identificar áreas climáticas similares à região de introdução para a liberação de agentes de biocontrole (PALMER et al., 2007; PALMER; SENARATNE, 2007) e, algumas vezes, para identificar áreas na região nativa para explorar agentes que sejam climaticamente adaptados às áreas pretendidas para a liberação (SENARATNE et al., 2006).

A contribuição do presente trabalho se deu em distintas abordagens, empregando a modelagem de nicho ecológico e distintas camadas da topografia e do ambiente para (1) prever a distribuição geográfica potencial do capim-annoni-2 e do agente biotrófico nativo *Uromyces* sp.; (2) priorizar locais na região nativa para a exploração de agentes

exóticos de biocontrole a serem avaliados quanto ao potencial de biocontrole pela estratégia clássica e (3) identificar locais potenciais de liberação no Brasil que apresentem similaridade climática aos locais de origem de prováveis agentes exóticos de biocontrole. Descreve-se, em detalhes, a aquisição dos dados, a seleção das técnicas de modelagem mais apropriada para as diferentes abordagens consideradas com base no padrão de amostragem dos dados bióticos.

2. Aquisição e tratamento dos dados usados na modelagem

2.1 Relatos da distribuição espacial do capim-annoni-2 na área nativa de ocorrência da espécie

Com base em registros compilados de diferentes herbários e base de dados de plantas, procurou-se elencar a distribuição da espécie-alvo (Figura 1) no continente africano para subsidiar a atividade de avaliação da correspondência climática entre estes locais e o Brasil. Muito embora não estivessem disponíveis pontos georreferenciados de ocorrência da espécie-alvo em diversos países do continente africano foi localizada a área urbana ou a distribuição direcionada para áreas de campo empregando a mídia digital (GOOGLE, 2009), conforme descrito na Tabela 1.

2.2 Relatos da distribuição espacial do capim-annoni-2 e do fungo *Uromyces* sp. no Rio Grande do Sul

As coordenadas de registros de ocorrência do capim-annoni-2 e do fungo nativo *Uromyces* sp., agente etiológico da ferrugem do capim-annoni-2 (Figura 2), são oriundos de levantamentos efetuados durante o ano de 2008 na região de Fronteira da Metade Sul do Rio Grande do Sul. A área de abrangência envolveu os municípios de Pelotas, São Lourenço do Sul, Capão do Leão, Cerrito, Piratini, Candiota, Hulha Negra, Pinheiro Machado, Bagé, Dom Pedrito, Santana do Livramento, Quaraí, Uruguaiana, Barra do Quaraí, Itaqui, São Borja, Maçambará, Manoel Viana, Alegrete, Rosário do Sul, São Gabriel, Caçapava do Sul, Santana da Boa Vista, Canguçu e Morro Redondo, Rio Grande, Jaguarão, Chuí (NACHTIGAL et al., 2009). As explorações foram

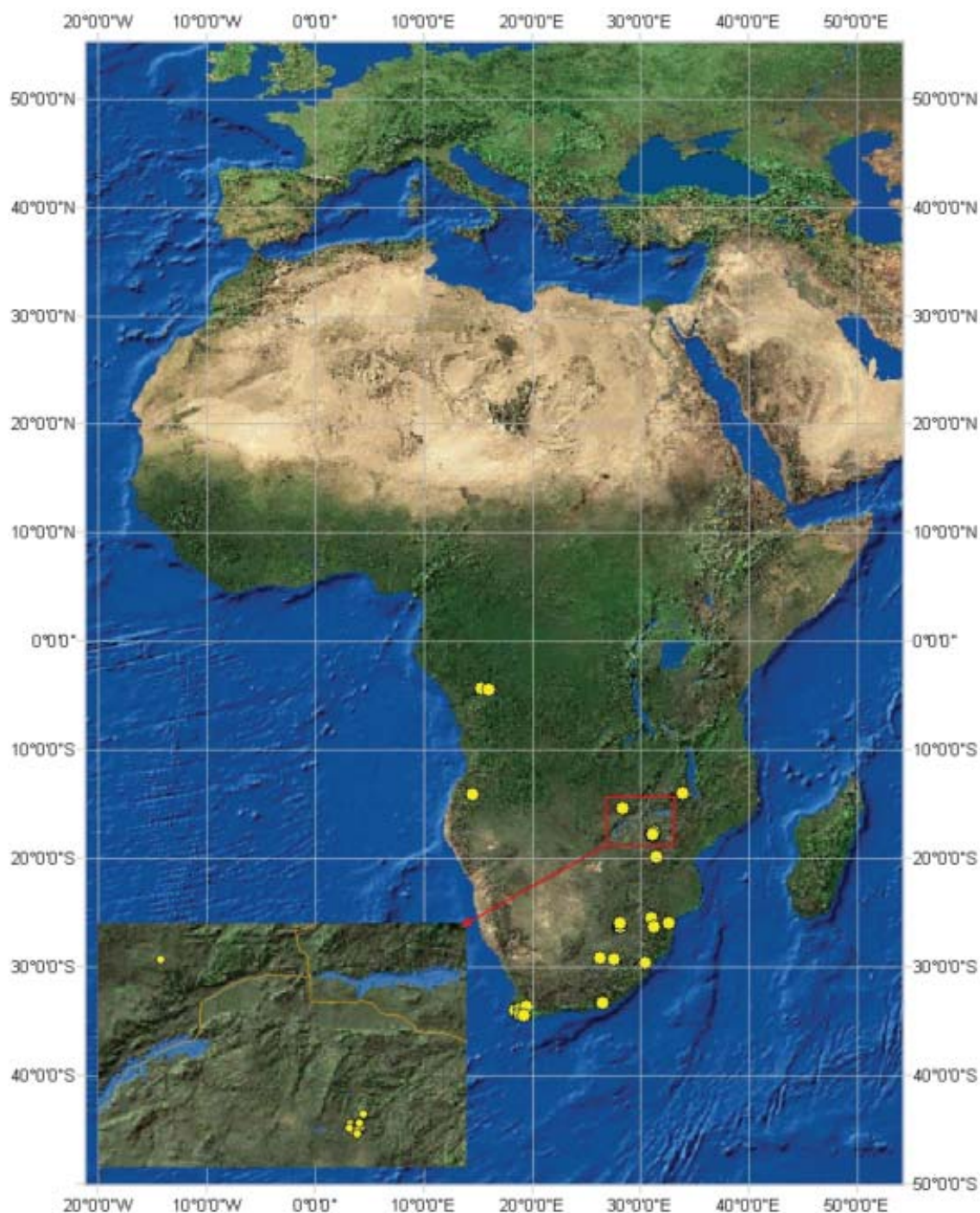
efetuadas, entre agosto e dezembro, em áreas particulares, nos corredores viários entre propriedades ou no acostamento de rodovias (BR293, BR472, BR287, RST377, BR290, BR392, BR116, BR392, BR471, RS265, BR153), em locais não menos distantes do que 6 km para evitar tendência de replicação de amostras por sobreposição espacial, ocasião na qual foram identificadas as coordenadas geográficas pelo uso de receptor GPS (Sistema de Posicionamento Global) de navegação. Um total de 152 registros para o capim-annoni-2 foram obtidos, dos quais 86 apresentaram ocorrência do patógeno em questão (Figura 3).

2.3 Aquisição e Tratamento das Informações Ambientais

A modelagem de nicho ecológico foi realizada com base nos dados bióticos, que resumem as coordenadas geográficas do registro de ocorrência da espécie, e nos dados abióticos, que resumem as camadas ambientais utilizadas no processo de modelagem. Neste, os registros de ocorrência da espécie e variáveis ambientais informadas são inscritos no algoritmo matemático. O objetivo é identificar as condições ambientais que estão associadas com a ocorrência geográfica da espécie, pressupondo que as condições climáticas que uma espécie pode tolerar pode ser inferida do conhecimento de sua distribuição (PEARSON, 2007).

Os planos de informações abióticas foram adquiridos na base de dados WorldClim (2007) a partir dos dados bioclimáticos de uma série histórica (1950-2000). Foram selecionados os níveis de informações ambientais com resolução espacial diferenciada em função do tamanho do arquivo e tempo de processamento necessário para as distintas abordagens consideradas. Adotou-se a resolução espacial de 30 arcseg (arco de segundo), o que equivale a um pixel de 1 km, para a geração dos modelos com dados de ocorrência de *Uromyces* sp. e capim-annoni-2 no Brasil e resolução espacial de 10 arcmin (arco de

minuto), o que equivale a um pixel 20 km, para a geração do modelo de predição no Brasil com base nos dados de ocorrência do capim-annoni-2 no continente africano. A importância relativa das variáveis ambientais preditoras para as espécies em questão foram previamente apreciadas. As informações consideradas relevantes para as espécies modeladas no processo, foram: (1) bio1 – temperatura média anual; (2) bio2 - amplitude diurna média [média mensal (temperatura máxima – temperatura mínima)] (3) bio5 - temperatura máxima dos meses mais quentes; (4) bio6 - temperatura mínima dos meses mais frios; (5) bio12 - precipitação anual; (6) bio13 - precipitação dos meses mais úmidos; (7) bio14 - precipitação dos meses mais secos, (8) Alt – altitude do terreno.



Fonte: Laboratório de Planejamento Ambiental da Embrapa Clima Temperado

Fig. 1. Ocorrência de capim-annoni-2 na região nativa, ao sul do continente africano.

Foram considerados o georreferenciamento por ponto de localização da área urbana ou distribuição direcionada para áreas de campo, empregando o Google Earth (GOOGLE, 2009) como apoio. Ampliação em parte do país Zimbábue, onde há uma concentração de pontos com ocorrência de capim-annoni-2.

Tabela 1. Locais de ocorrência de capim-annoni-2 em países do continente africano. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, 2010.

Longitude	Latitude	Localidade	País
31,089167	-17,759722	Nr bridge, Borrowdale Common	Zimbabwe
31,366667	-19,882730	Maonza, Vumba	Zimbabwe
31,094575	-17,781178	Gienara Avenue North	Zimbabwe
31,015290	-17,800505	By Marimba River, nr Quendon Rd	Zimbabwe
30,996622	-17,755875	By Elizabeth Windsor Rd	Zimbabwe
31,144956	-17,809921	Intersection of Harare Drive/ Arcturus	Zimbabwe
31,049210	-17,868064	Mukuvisi, River, Boshoff Drive	Zimbabwe
31,112131	-17,819493	Greendale Avenue	Zimbabwe
31,125356	-17,827016	Nr road, Wilson Drive, Athlone	Zimbabwe
31,089167	-17,759722	Borrowdale Common	Zimbabwe
31,111520	-17,747045	By path nr Stratford Drive	Zimbabwe
31,091832	-17,852015	Blatherwick Avenue	Zimbabwe
30,985550	-17,812088	Nr roadside ditch, Krickman Rd	Zimbabwe
31,097392	-17,892207	Harare Drive	Zimbabwe
31,174406	-17,611511	Nr Interpretative Centre, Domboshawa	Zimbabwe
31,116653	-17,744504	Greystone Park Nature Reserve	Zimbabwe
18,429152	-33,952483	Cape Province. CAPE TOWN	Africa do Sul
26,206405	-29,182293	Free State Province. BLOEMFONTEIN	Africa do Sul
30,379618	-29,603509	KwaZulu-Natal Province. PIETERMARITZBURG	Africa do Sul
18,888715	-33,949804	Cape Province. STELLENBOSCH	Africa do Sul
18,930591	-34,355029	BETTY'S BAYCape Province. CAPE TOWN	Africa do Sul
19,447148	-33,668442	Cape Province. WORCESTER	Africa do Sul
30,986848	-25,447567	Mpumalanga Province. NELSPRUIT	Africa do Sul
26,525429	-33,324682	Cape Province. GRAHAMSTOWN	Africa do Sul
19,230603	-34,411397	Cape Province. HERMANUS	Africa do Sul
27,985097	-26,302487	Gauteng Province. JOHANNESBURG	Africa do Sul
28,02837	-26,262169	Cape Province. UMTATA	Africa do Sul
28,13565	-25,998561	Cape Province. KIMBERLEY	Africa do Sul
15,283287	-4,2806030	BRAZZAVILLE	República Democrática do Congo
15,963975	-4,3871990	KINSHASA	República Democrática do Congo

Longitude	Latitude	Localidade	País
14,489305	-14,127775	HUILA	Angola
28,287167	-15,408193	Capital - Lusaka	Zambia
33,773762	-13,98260	Lilongwe	Malawi
32,600035	-25,949658	Maputo	Moçambique
27,483983	-29,336124	Maseru	Lesotho
31,145316	-26,318240	Mbabane	Suazilândia

Fonte: *Eragrostis...* (1995); Costa et al. (2004); Hyde e Wursten (2008); USDA (2007).



Fotos: Glaucia de Figueiredo Nachtigal

Fig. 2. Sintomas de ferrugem, incidindo em plantas de capim-annoni-2, na região de fronteira da Metade Sul do Rio Grande do Sul devido à infecção por *Uromyces* sp.

No tratamento das informações ambientais utilizou-se o software de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) ArcGIS 9.3 (ESRI, 2008), possibilitando: (1) elaborar um polígono máscara do território brasileiro que serviu de base para o recorte de todos os níveis de informações ambientais utilizados; (2) verificar, por meio da visualização de informação associada a uma paleta de cores distribuída em 30 classes, a possibilidade de ocorrência de anomalias no padrão de visualização dos dados abióticos oriundos de WordClim (2007); (3) compatibilizar, nos softwares de modelagem, os dados cartográficos referentes ao sistema de coordenadas dos dados e (4) plotar e visualizar os registros de ocorrência das espécies, oriundos do levantamento a campo, de modo a identificar e evitar possíveis erros de localização.

3. Seleção dos ambientes de modelagem

Foram utilizados dois tipos de planos de informação bióticos para subsidiar, calibrar e avaliar os Modelos de Distribuição de Espécies, sendo os registros de presença gerados pelos registros de ocorrência da espécie levantada a campo, com auxílio de receptor GPS de navegação, e os de ausência que, por nem sempre refletirem uma ausência real ou inadequação do ambiente para a ocorrência da espécie, foram considerados como pseudo-ausências (pontos escolhidos aleatoriamente na área de estudo e que foram usados como ausências durante a modelagem). Este tipo de conduta levou à seleção de algoritmos híbridos ou intermediários, dos quais o algoritmo GARP (STOCKWELL; PETERS, 1999), presente no ambiente de modelagem OpenModeller (2009) e o algoritmo Maxent (PHILLIPS et al., 2006), do ambiente de modelagem Maxent (2009) foram as opções. O diagrama detalhado dos principais passos utilizados para construir e validar os modelos de distribuição geográfica potencial de *Eragrostis plana* e *Uromyces* sp. está apresentado na Figura 4.



Fig. 3. Rota de levantamento do capim-annoni-2 na região de Fronteira da Metade Sul do Rio Grande do Sul e pontos de ocorrência de ferrugem incitada por *Uromyces* sp.

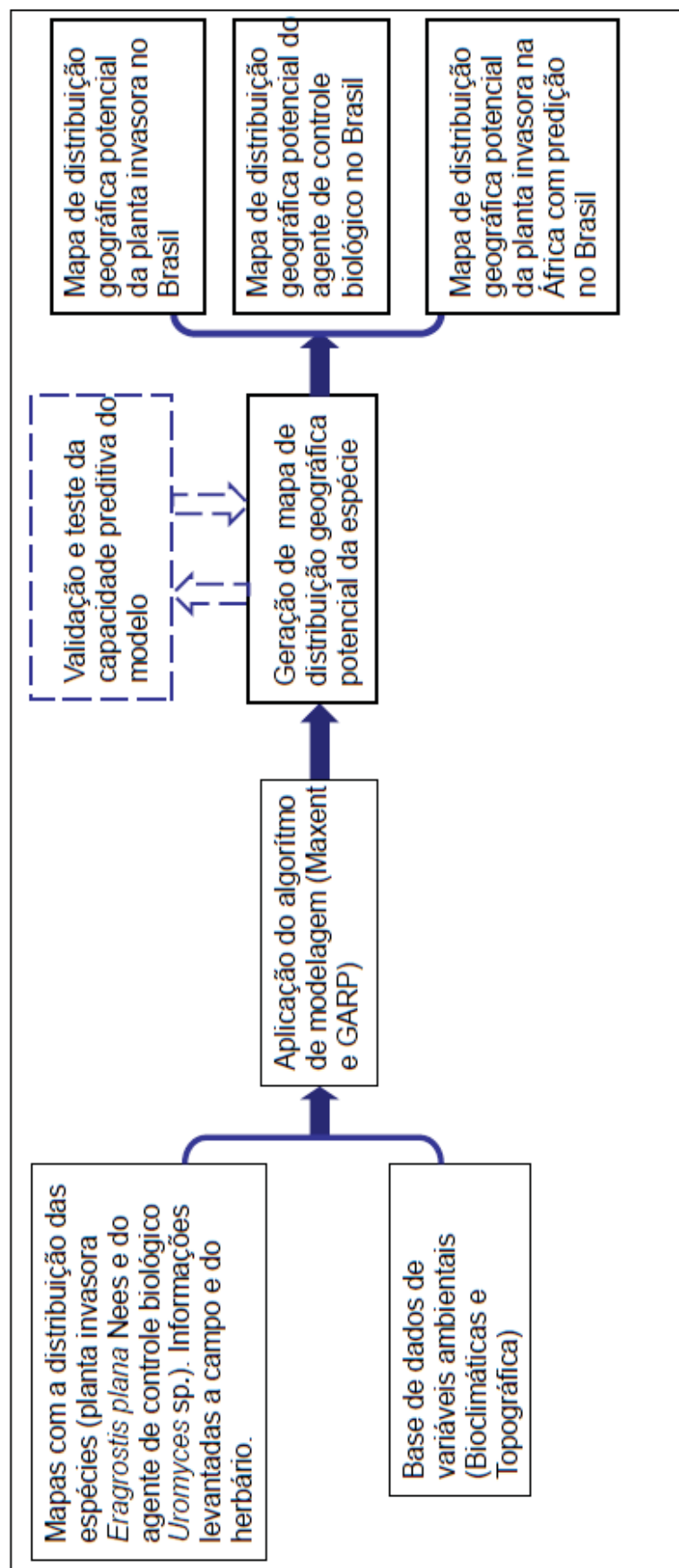


Diagrama: Fábria Amorim da Costa

Fig. 4. Diagrama detalhado dos principais passos utilizados para construir e validar os modelos de distribuição geográfica potencial de *Eragrostis plana* e *Uromyces* sp.

3.1 Algoritmo Genético para Predição de Regras – GARP

O algoritmo GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Production) opera sobre um conjunto de regras e realiza uma “seleção natural”, excluindo regras menos eficientes e criando novos conjuntos de regras a partir das regras “sobreviventes” (STOCKWELL; PETERS, 1999). As regras são baseadas nos valores dos níveis de informação presentes nos registros de ocorrência da espécie. Durante a execução do algoritmo, as regras são modificadas aleatoriamente por meio de operadores heurísticos de recombinação e mutação. As novas regras geradas são diferentes das regras originais e, por isso, apresentam diferentes valores de adaptação. Os valores de adaptação resultantes podem ser tanto melhores quanto piores em relação aos valores originais, baseado nos pontos de teste. Quando um número pré-determinado de interações é atingido, o algoritmo é encerrado. É criado, como resultado, um conjunto de regras a partir dos indivíduos sobreviventes. Este conjunto de regras representa o modelo de nicho da espécie. Este modelo é aplicado de volta ao espaço geográfico, indicando as regiões onde a espécie está provavelmente presente ou ausente.

3.2 Algoritmo de Máxima Entropia – Maxent

Na geração de modelos de nicho ecológico o algoritmo do software Maxent estima a probabilidade de ocorrência da espécie, encontrando a distribuição de probabilidade da máxima entropia (distribuição mais próxima da distribuição uniforme) em presença de um conjunto de restrições que representam a informação incompleta sobre a distribuição alvo. A informação disponível sobre a distribuição da espécie constitui um conjunto de valores tomados como verdades (oriundos dos dados de presença) e suas restrições são os valores esperados que devem corresponder às médias para o conjunto de dados tomados da distribuição alvo. Para este algoritmo, os registros

de ocorrência da espécie fornecem os dados que serão tratados sempre como verdades pelo algoritmo (PHILLIPS et al., 2004, 2006).

3.3 Validação e teste da capacidade preditiva do modelo

A validação dos modelos foi obtida por meio das estimativas de erro geradas pelo algoritmo na análise ROC (curva característica de operação). A análise ROC é baseada na medida de sensibilidade, ou seja, na taxa de verdadeiros positivos (ausência de erro de omissão) versus a especificidade, ou na taxa de falso positivo (erro de sobreprevisão) (PEARSON, 2007). Para as abordagens com o capim-annoni-2 os algoritmos GARP e Maxent foram calibrados utilizando proporção de treino de 70% dos registros disponíveis e com proporção de teste de 30% dos pontos de amostragem, tomados de forma aleatória para o cálculo do erro de omissão (pontos de coordenadas que não coincidiram com o modelo de distribuição da espécie) (PEARSON, 2007). No caso do patógeno *Uromyces sp.* foram considerados os dados de registro a campo na região de Fronteira da Metade Sul do RS, sendo os pontos de presença identificados com base na presença dos sinais do patógeno e os de pseudo-ausência considerados quando tais sinais não foram detectados na espécie alvo.

Para o algoritmo Maxent esta análise permitiu avaliar a performance do modelo através do limite de corte, gerando um único valor, o qual representou a área sob a curva característica de operação (AUC) (PEARSON, 2007). O valor de corte variou de acordo com as diferentes abordagens sob análise, representado pela presença mínima de treino. Considerou-se o valor 0,099 para a abordagem da adequação climática entre locais de exploração na região nativa e locais de liberação no Brasil.

Para o algoritmo GARP, no ambiente OpenModeller, foram desprezados os modelos gerados que apresentaram taxas de erro de omissão

maiores que o nível de corte de 10%.

4. Os modelos preditivos

Em relação aos fundamentos teóricos, o resultado da modelagem de nicho ecológico não representa a distribuição real da espécie e sim a distribuição das áreas onde a espécie tem potencial de estar. Isto ocorre por se utilizar, no processo de modelagem, a distribuição real (registro de ocorrência dos dados bióticos) e variáveis ambientais (dados abióticos), sem considerar a atuação de outras influências bióticas, como interação entre espécies tais como competição e predação e de barreiras geográficas. Desta forma, no processo de modelagem, a área de distribuição geográfica potencial é sempre maior, representando o nicho fundamental e não o nicho realizado (AUSTIN, 2002; PHILLIPS et al., 2006).

Além disso, cabe ressaltar que, em função da área de abrangência que este trabalho se propôs analisar, da resolução espacial (1 km e 20 km) das camadas bioclimáticas e da utilização de parte das informações abióticas, sem disponibilidade de dados com detalhamento de informações ambientais, tais como dados de solos, tipos de vegetação, uso e cobertura da terra, a escala de trabalho apropriada para análise é uma escala regional.

4.1 Distribuição geográfica potencial do capim-annoni-2 e do fungo nativo *Uromyces* sp.

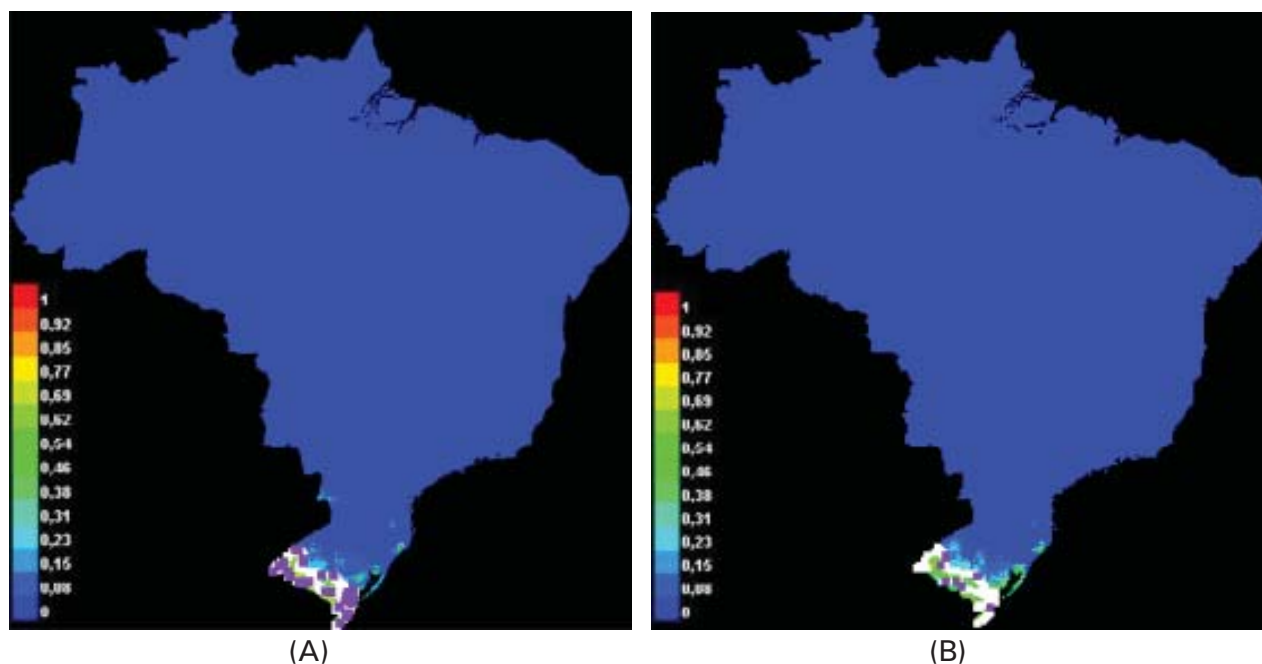
O padrão de distribuição geográfica potencial do capim-annoni-2 e do agente da ferrugem, preditos com base na modelagem de nicho ecológico e considerando os pontos de registro das espécies na região de Fronteira da Metade Sul do Rio Grande do Sul ficaram delimitados ao domínio climático muito peculiar da região sul do Brasil que é o clima subtropical (Figuras 5 e 6), muito embora no caso do capim-

annoni-2, sabe-se que esta espécie encontra-se presente em uma área consideravelmente maior, envolvendo o Distrito Federal e os Estados de São Paulo, Minas Gerais e Bahia (INSTITUTO HÓRUS DE DESENVOLVIMENTO E CONSERVAÇÃO AMBIENTAL, 2008).

O esforço amostral no Estado do Rio Grande do Sul (Figura 3) mostrou-se eficiente para uma análise na região climática subtropical, mas ineficiente para predizer a distribuição da espécie em outros domínios climáticos no Brasil.

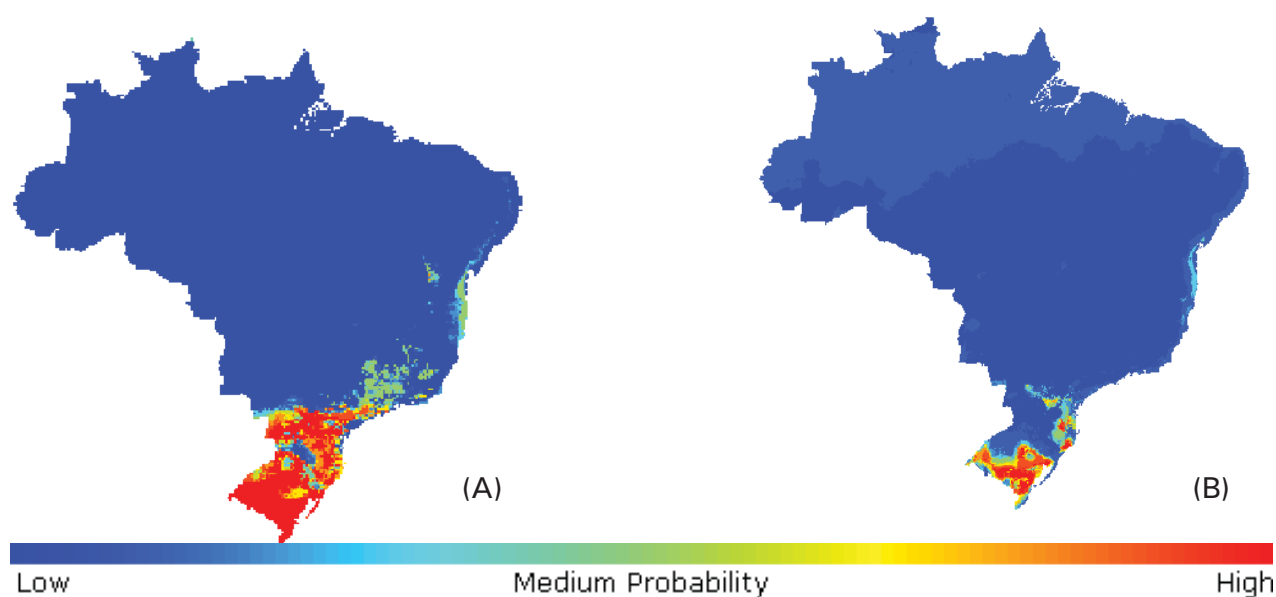
A expansão de pontos georreferenciados, oriundos da ampliação da região de levantamentos em outros Estados do Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste do País, certamente seria de valia no processo de modelagem das espécies em questão.

A análise comparativa entre os dois algoritmos avaliados indicou que o algoritmo Maxent apresentou maior ajuste aos pontos amostrados, resultando em uma distribuição geográfica potencial mais restritiva (Figura 5), diferentemente do algoritmo GARP (Figura 6). Entretanto, embora o agente etiológico da ferrugem do capim-annoni-2 seja um fungo biotrófico e, portanto, bastante dependente do seu hospedeiro, o modelo gerado por meio do algoritmo GARP do software de modelagem OpenModeller, considerando os registros de ocorrência de *Uromyces* *sp.* na região de Fronteira da Metade Sul do RS, mostrou-se bastante restritivo, prevendo notoriamente a região da Serra do Sudeste e da Campanha como sendo climaticamente adequadas para o patógeno,



Fonte: Laboratório de Planejamento Ambiental da Embrapa Clima Temperado

Fig. 5. Distribuição geográfica potencial do capim-annoni-2 (A) e do fungo *Uromyces* sp. (B) na região Sul, pelo uso do algoritmo Maxent, presente no software Maxent, obtidas com base na coleta dos pontos georreferenciados de ocorrência e/ou ausência da espécie na região de Fronteira da Metade Sul do RS e na aplicação do modelo de nicho ecológico. Os planos de informação referem-se aos dados bioclimáticos de uma série histórica (1951-2001), disponíveis na base de dados WorldClim (2007), sendo: bio1 = temperatura média anual; bio2 = amplitude diurna média; bio5 = temperatura máxima dos meses mais quentes; bio6 = temperatura mínima dos meses mais frios; bio12 = precipitação anual; bio13 = precipitação dos meses mais úmidos; bio14 = precipitação dos meses mais secos. Pontos roxos (A e B) são referentes aos 30% de testes, tomados aleatoriamente sobre o total de pontos de ocorrência e considerados quando da análise pelo software Maxent.



Fonte: Laboratório de Planejamento Ambiental da Embrapa Clima Temperado

Fig. 6 Distribuição geográfica potencial do capim-annoni-2 (A) e do fungo *Uromyces* sp. (B) na região Sul, pelo uso do algoritmo GARP do software de modelagem OpenModeller, obtidas com base na coleta dos pontos georreferenciados de ocorrência e/ou ausência da espécie na região de Fronteira da Metade Sul do RS e na aplicação do modelo de nicho ecológico. Os planos de informação referem-se aos dados bioclimáticos de uma série histórica (1951-2001), disponíveis na Base de dados WorldClim (2007), sendo: bio1 = temperatura média anual; bio2 = amplitude diurna média; bio5 = temperatura máxima dos meses mais quentes; bio6 = temperatura mínima dos meses mais frios; bio12 = precipitação anual; bio13 = precipitação dos meses mais úmidos; bio14 = precipitação dos meses mais secos.

4.2 Adequação climática entre locais de exploração na região nativa e locais de liberação no Brasil

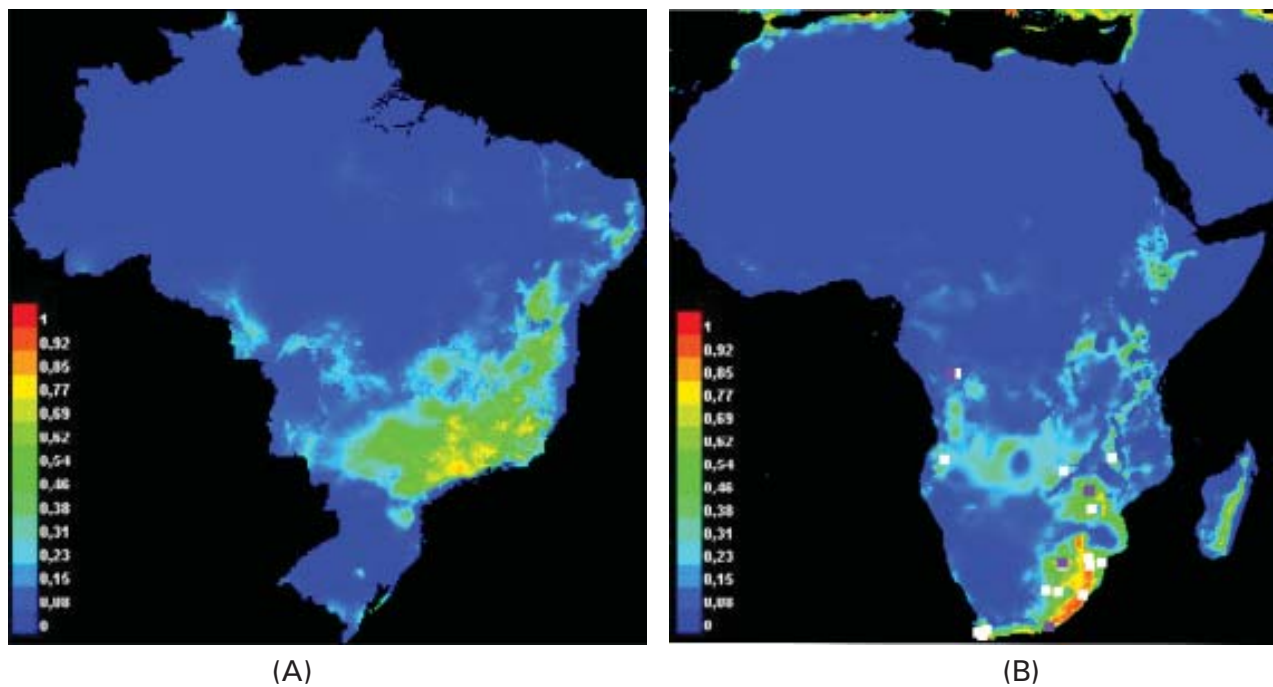
Por meio da modelagem para a comparação da similaridade climática entre as regiões de ocorrência do capim-annoni-2 no continente africano e o Brasil, efetuada com o emprego do software Maxent, foram identificadas áreas com maior similaridade em relação à região nativa da espécie nos Estados do Sudeste (SP, MG, ES, RJ), Centro-Oeste (GO, MT e MS) e Nordeste (notoriamente BA) (Figura 7).

Considerando um modelo de simulação da propagação de muitas espécies invasoras em um novo ambiente, verifica-se que a taxa de propagação é inicialmente baixa (fase lag) e depois se torna rápida à medida que a espécie invasora começa a ocupar o novo habitat mais plenamente. Com base nessa premissa, aventa-se que se a introdução do capim-annoni-2 tivesse ocorrido na região de maior similaridade climática (Figura 7) com a região onde a espécie é nativa, possivelmente haveria uma diminuição da fase de adaptação da espécie ao novo ambiente (fase lag) e uma maior rapidez no desencadeamento do processo invasivo, em comparação ao ocorrido no Rio Grande do Sul onde, primeiramente, a espécie foi introduzida.

Por outro lado, a predição de distribuição do capim-annoni-2 no Rio Grande do Sul, tomada com base na compatibilidade climática entre os locais invadidos na região nativa e no Brasil, indica que a espécie alvo tem uma ampla capacidade de adaptação o que, muito provavelmente, fez com que alcançasse um alto nível de invasão mesmo em situações não tão favoráveis em termos de condições climáticas ideais para seu desenvolvimento. Este fato explica, pelo menos parcialmente, o potencial invasivo que a espécie detém, com comprometimento de diferentes biomas brasileiros (Figuras 8 e 9) e, inclusive, de importantes pólos de produção pecuária de leite e de corte, como é o caso dos Estados do Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás onde a invasão tem causado, ou poderá vir a causar, impactos socioeconômicos e ambientais consideráveis.

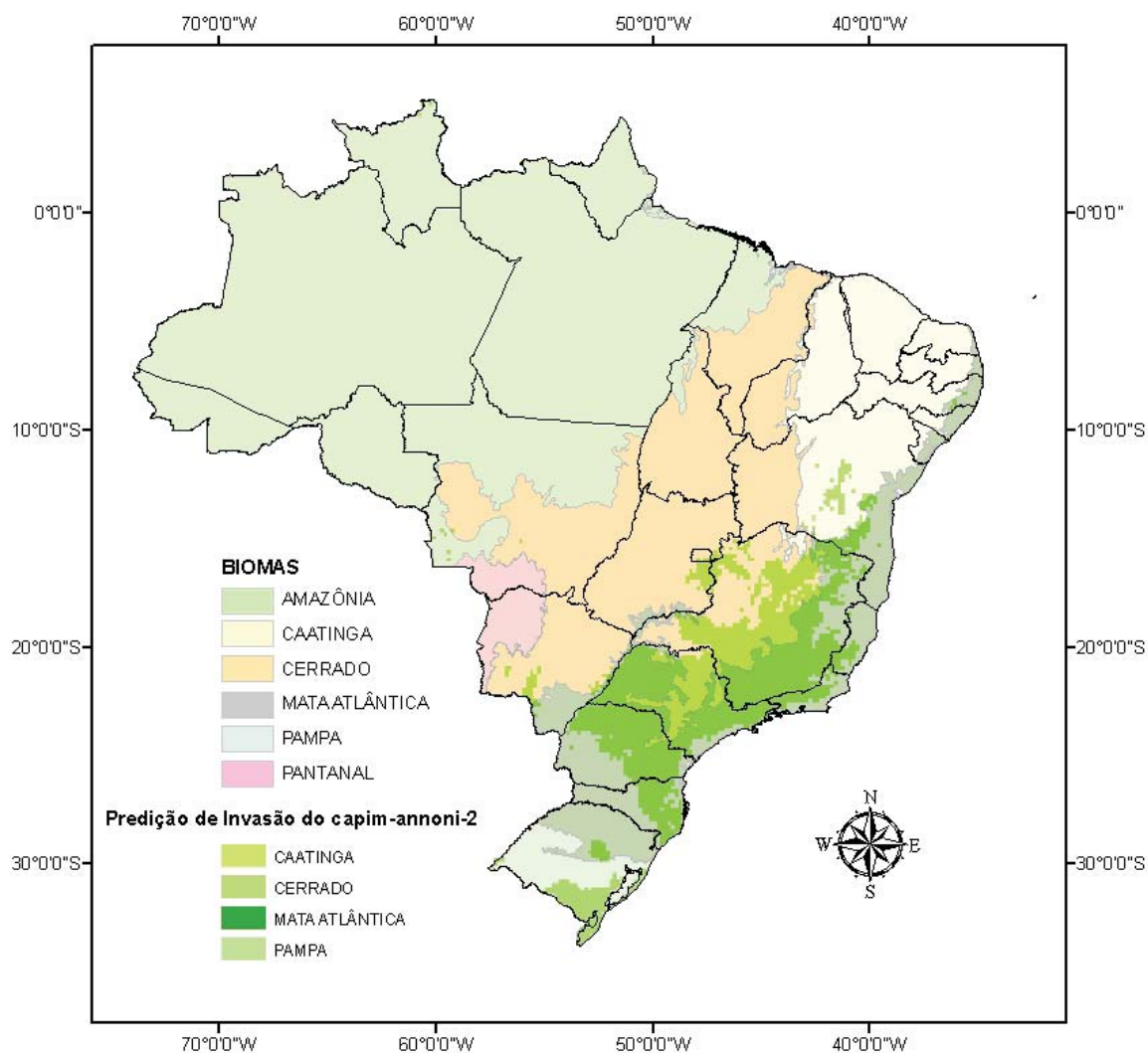
Em relação à prospecção de agentes de biocontrole no continente africano, verificou-se que inimigos naturais daquela região teriam um baixo potencial de adaptação às áreas invadidas, à exceção da região Sudeste do Brasil. Aventa-se que, no sul do Brasil, a liberação de agentes de biocontrole prospectados no continente africano, pela estratégia clássica, poderia não ser a mais indicada. Este conhecimento tem importância fundamental na delimitação da área de abrangência dos levantamentos de inimigos naturais em países africanos, de modo a resultar na otimização de tempo e recursos financeiros pela busca

direcionada de inimigos naturais para o estabelecimento de agentes de biocontrole nas referidas áreas invadidas no Brasil.



Fonte: Laboratório de Planejamento Ambiental da Embrapa Clima Temperado

Fig. 7 Predição da distribuição geográfica do capim-annoni-2 no Brasil (A), pelo uso do algoritmo do software de modelagem Maxent, obtida com base na compatibilidade climática com a região nativa de ocorrência da espécie no continente africano (B). Os pontos localizados no continente africano, são registros de ocorrência, considerando o georreferenciamento por ponto de localização próximo da área urbana ou distribuição direcionada para áreas de campo, empregando o Google Earth (GOOGLE, 2009) como apoio.



Fonte: Laboratório de Planejamento Ambiental da Embrapa Clima Temperado.

Fig. 8 Predição da distribuição geográfica do capim-annoni-2 por biomas brasileiros (BRASIL, 2004), a partir da compatibilidade climática com áreas de ocorrência na região nativa da espécie no continente africano.



Fonte: Laboratório de Planejamento Ambiental da Embrapa Clima Temperado.

Fig. 9 Efetivo do rebanho bovino por cabeças, segundo Censo Agropecuário 2008, representado por cinco classes de cores, o marrom escuro representa os valores quantitativos mais altos de efetivo de rebanhos e a cor mais clara os valores mais baixos.

5. Referências

ARAÚJO, A. Á. de. **Principais gramíneas do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Sulina, 1971. 257 p.

AUSTIN, M. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modeling. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 157, n. 2-3, p. 101-118, Nov. 2002.

BYRNE, M. J.; CURRIN, S.; HILL, M. P. The influence of climate on the establishment and success of the biocontrol agent *Gratiana spadicea*, released on *Solanum sisymbriifolium* in South Africa. **Biological Control**, San Diego, v. 24, n. 2, p.128-134, June 2002.

COELHO, R. W. Capim annoni-2, uma invasora a ser controlada: informações disponíveis. In: JORNADA TÉCNICA DE BOVINOCULTURA DE CORTE, 2., 1983, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: EMATER-RS; Bagé: EMBRAPA-CPPSUL: IPZFO, 1983. p. 51-70.

COELHO, R. W. Diagnóstico do problema e retrospectiva da pesquisa realizada com capim annoni-2 no CNPO e CPATB. In: REUNIÃO REGIONAL DE AVALIAÇÃO DE PESQUISA COM ANNONI-2, 1992, Bagé. **Anais...** Bagé: EMBRAPA-CPPSUL, 1993. p. 53-69. (EMBRAPA-CPPSUL. Documentos, 7).

COELHO, R. W. Substâncias fitotóxicas presentes no capim annoni-2. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 21, n. 3, p. 255-263, mar. 1986.

COSTA, E.; MARTINS, T.; MONTEIRO, F. **A checklist of Angola grasses**: checklist das Poaceae de Angola. Pretoria: SABONET, 2004. 25 p. (Southern African Botanical Diversity Network Report, n.28).

COUTO, A. C. A. do; REIS, J. C. L.; COELHO, R. W.; RODRIGUES, R. C. **Intervalos de corte na produção, persistência e qualidade de duas espécies de *Brachiaria* visando controlar a reinvasão por *Eragrostis plana***. Pelotas: EMBRAPA-CPACT, 1993. 7 p. (EMBRAPA-CPACT. Pesquisa em andamento, 2).

DUNLOP, E. A.; WILSON, J. C.; MACKEY, A. P. The potential geographic distribution of the invasive weed *Senna obtusifolia* in Australia. **Weed Research**, Oxford, v. 46, n. 5, p. 404-413, Sept. 2006.

ERAGROSTIS plana Nees In: TROPICOS.org. **Missouri Botanical Garden**. Saint Louis, Missouri, [1995]. Disponível em: <<http://www.tropicos.org/Name/25515198>>. Acesso em: 2 out. 2008.

ESRI. **ArcGIS 9.3**: ArcMap (software). Redlands, 2008. 1 DVD.

FERREIRA, N. R.; MEDEIROS, R. B.; CARLLOTO, S. B.; FREITAS, M. R. Padrão de banco de sementes em função de atributos de solo em borda viária dominada por capimannoni-2. In: REUNIÃO DO GRUPO TÉCNICO EM FORRAGEIRAS DO CONE SUL – ZONA CAMPOS, 22., 2006, Pelotas. **Anais...** Pelotas: EMBRAPA-CPACT, 2006. 1 CD-ROM.

GOOGLE. **Google earth**. v. 4.3. 2009. Disponível em: <<http://earth.google.com.br/download-earth.html>>. Acesso em: 14 set. 2009.

IBGE. **Censo agropecuário 2008**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 14 set. 2009.

IBGE. **Mapa dos biomas e vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Cartas_e_Mapas/Mapas_Murais/>. Acesso em: 10 mar. 2009.

INSTITUTO HÓRUS DE DESENVOLVIMENTO E CONSERVAÇÃO

AMBIENTAL. **Espécies exóticas invasoras**: fichas técnicas.

Florianópolis, [2002]. Disponível em: <<http://www.institutohorus.org.br/index.php?modulo=fichasTecnicas>>. Acesso em: 11 mar. 2008.

HOELMER, K. A.; KIRK, A. A. Selecting arthropod biological control agents against arthropod pests: can the science be improved to decrease the risk of releasing ineffective agents? **Biological Control**, San Diego, v. 34, n. 2, p. 255–264, Aug. 2005.

HYDE, M. A.; WURSTEN, B. **Flora of Zimbabwe**: species information: records of *Eragrostis plana*. 2008. Disponível em: <http://www.zimbabweflora.co.zw/speciesdata/species-display.php?species_id=105100>. Acesso em: 2 out. 2008.

MAXENT. **Maxent software for species habitat modeling versão 3.2.19**. Disponível em <<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>>. Acesso em: 5 maio 2009.

NACHTIGAL, G. de F.; NEUMANN, E. L. F.; COSTA, F. A. da; GARLICH, N. Ocorrência de ferrugem associada ao capim-annoni-2 (*Eragrostis plana* Nees) na região de Fronteira da Metade Sul do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 6., CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE AGROECOLOGIA, 2., 2009. **Agricultura familiar e camponesa**: experiências passadas e presentes construindo um futuro sustentável: anais. Curitiba: ABA: SOCLA, Governo do Paraná, 2009. 1 CD-ROM.

OPENMODELLER. OpenModeller desktop version 1.0.9. In: SOURCE Forge. Mountain View, CA: Geeknet, 2009. Disponível em: <https://sourceforge.net/project/showfiles.php?group_id=101808&package_id=142057> Acesso em: 2 jun. 2009.

PALMER, W. A.; LOCKETT, C. J.; SENARATNE, K. A. D. W.; McLENNAN, A. The introduction and release of *Chiasmia inconspicua*

and *C. assimilis* (Lepidoptera: Geometridae) for biological control of *Acacia nilotica* in Australia. **Biological Control**, San Diego, v. 41, n. 3, p. 368-378, June 2007.

PALMER, W. A.; SENARATNE, K. A. D. W. The host range and biology of *Cometarsus pyralis*; a biocontrol agent for *Acacia nilotica* subsp. *indica* in Australia. **BioControl**, Dordrecht, v. 52, n. 1, p.129-143, Feb. 2007.

PEARSON, R. G. Species' distribution modelling for conservation educators and practitioners: synthesis. New York: American Museum of Natural History, 2007. 50 p.
Disponível em: <http://biodiversityinformatics.amnh.org/files/SpeciesDistModelingSYN_1-16-08.pdf> . Acesso em: 10 nov. 2008.

PHILLIPS, S. J.; DUDIK, M.; SCHAPIRE, R. E. A maximum entropy approach to species distribution modeling. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MACHINE LEARNING, 21., 2004, Alberta, Canadá. **Proceedings...** New York: ACM Press, 2004. p. 655-662, 2004.
Disponível em: <<http://www.cs.cmu.edu/~Mdudik/PhillipsDuSc04.pdf>> . Acesso em: 10 nov. 2008.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 190, n. 3-4, p. 231-259, Jan. 2006.

RAIMUNDO, R. L. G.; FONSECA, R. L.; SCHACHETTI PEREIRA, R.; PETERSON, A. T.; LEWINSON, T. M. Native and exotic distribution of *siam weed* (*Chromolaena odorata*) modelled using the genetic algorithm for rule-set production. **Weed Science**, Ithaca, v. 55, n. 1, p. 41-48, Jan. 2007.

REIS, J. C. L.; COELHO, R. W. Sucessão de culturas no controle de capim annoni-2. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE

ZOOTECNIA, 37., 2000, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SBZ, 2000. 1 CD-ROM. Forragicultura.

SENARATNE, K. A. D. W.; PALMER, W. A.; SUTHERST, R. W. Use of CLIMEX modelling to identify prospective areas for exploration to find new biological control agents for prickly acacia. **Australian Journal of Entomology**, Canberra, v. 45, n. 4, p. 298-302, Nov. 2006.

STOCKWELL, D. R. B.; PETERS, D. The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. **International Journal of Geographic Information Systems**, London, v. 13, n. 2, p.143-158, Mar. 1999.

USDA. **Germoplasm Resources Information Network**. Beltsville, Maryland: National Germplasm Resources Laboratory, [2007]. Disponível em: <<http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?15296>>. Acesso em: 2 out. 2008.

WORLDCLIM: global climate data. Disponível em: <www.worldclim.org>. Acesso em: 11 ago. 2007.